



Eficiencia energética en sistemas de iluminación

Indicadores parte II

Por: Fernando Augusto Herrera León
Profesor

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
faherreral@unal.edu.co

Junio 23 de 2011

Contenido

Parte I

Contexto energético

- Fundamentos de iluminación

Parte II

- Factores asociados con la eficiencia

- Análisis de la eficiencia del sistema de iluminación

- Indicadores de evaluación



Indicadores energéticos

Eficacia Im/w

Fuentes

Eficiencia W / W

Equipos y
accesorios

Rendimiento W_{c-S}/W_{g-S}

Indicadores energéticos

Densidad de potencia DPA

W/m²

LPA lighting power density AILPD

W/ft²

PEI Potencia específica en iluminación W/ 100lx .m²

Valor de eficiencia energética en iluminación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

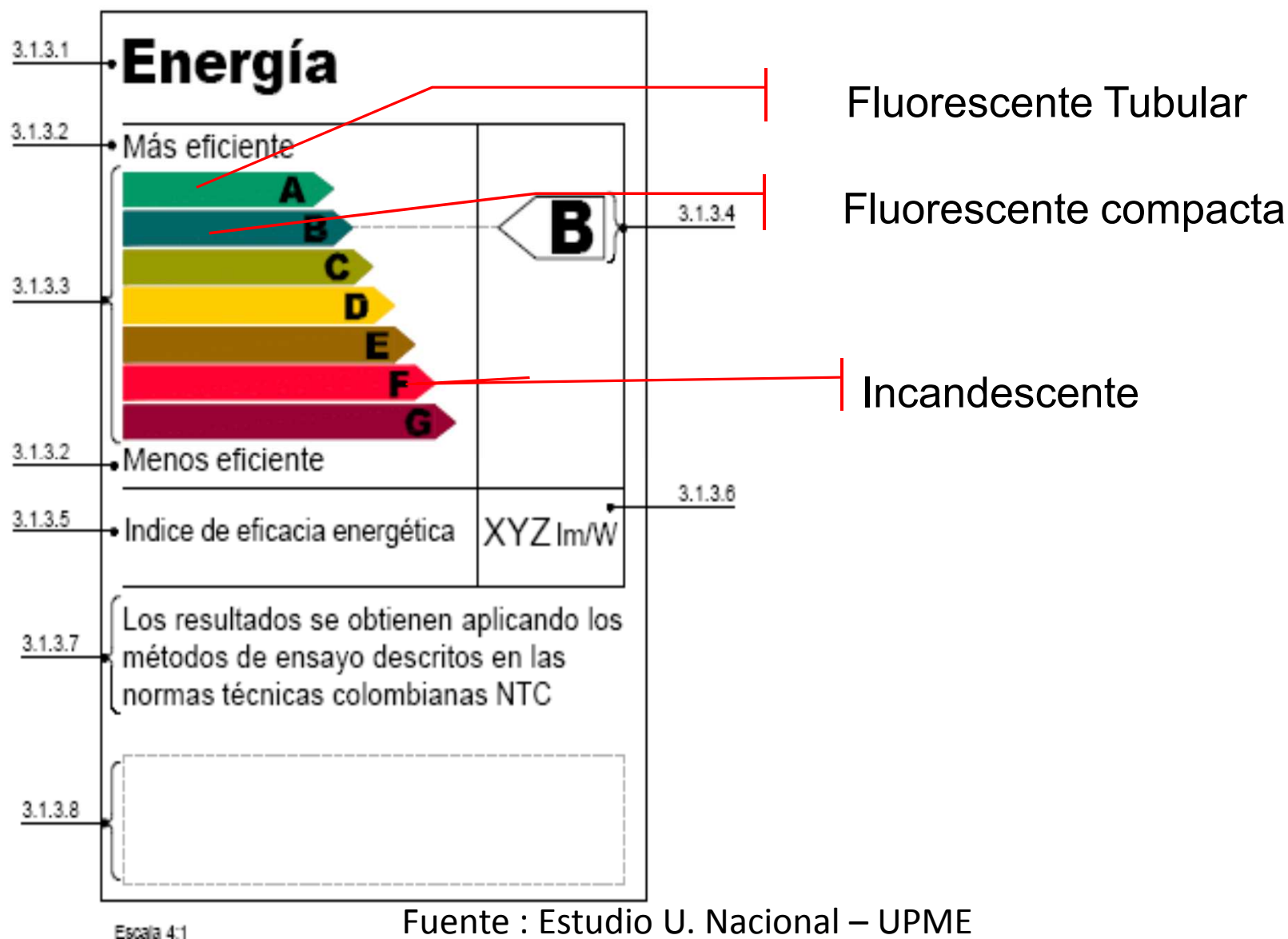
Indicadores energéticos

LENI indicador numérico de energía por
iluminación $\text{kWh} / \text{año} \cdot \text{m}^2$

Pesos por iluminación Costo \$ / ($\text{k-lm} \cdot \text{h}$)

CLD Coeficiente de luz diurna $E_{\text{in}} / E_{\text{ex}}$

Clasificación por etiqueta



Indicadores DPEA

| Área | | luxes | DPEA [W/m2] |
|----------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|
| Áreas generales | Corredores | 100 | 3,53 |
| | Escaleras | 150 | 6,00 |
| | Vestidores, baños | 150 | 5,28 |
| | Almacenes, Bodegas | 150 | 5,59 |
| Residencial | Sala | 300 | 10,81 |
| | Comedor | 300 | 10,83 |
| | Habitación | 150 | 5,28 |
| | Estudio | 500 | 18,61 |
| | Cocina | 200 | 7,54 |
| | Baño | 100 | 4,00 |

Indicadores energéticos

| Promedio de eficiencia en iluminación PEI | |
|--|-------------------------------|
| Tipo de instalación | w/m²x100 lx |
| Estado del arte | 1 |
| Promedio instalaciones europeas | 3,1 |
| Valor 1998 | 2,3 |
| Valor 2003 | 2,1 |
| Valor España oficinas | 1,5...5.0 |
| Promedio instalaciones Argentinas | 6,6 |
| Instalaciones Brasil | 6,7 |
| Instalaciones TF convencional | 5,5 |
| Instalacion LFC | 6 |
| Instalación Incandescente | 10 |

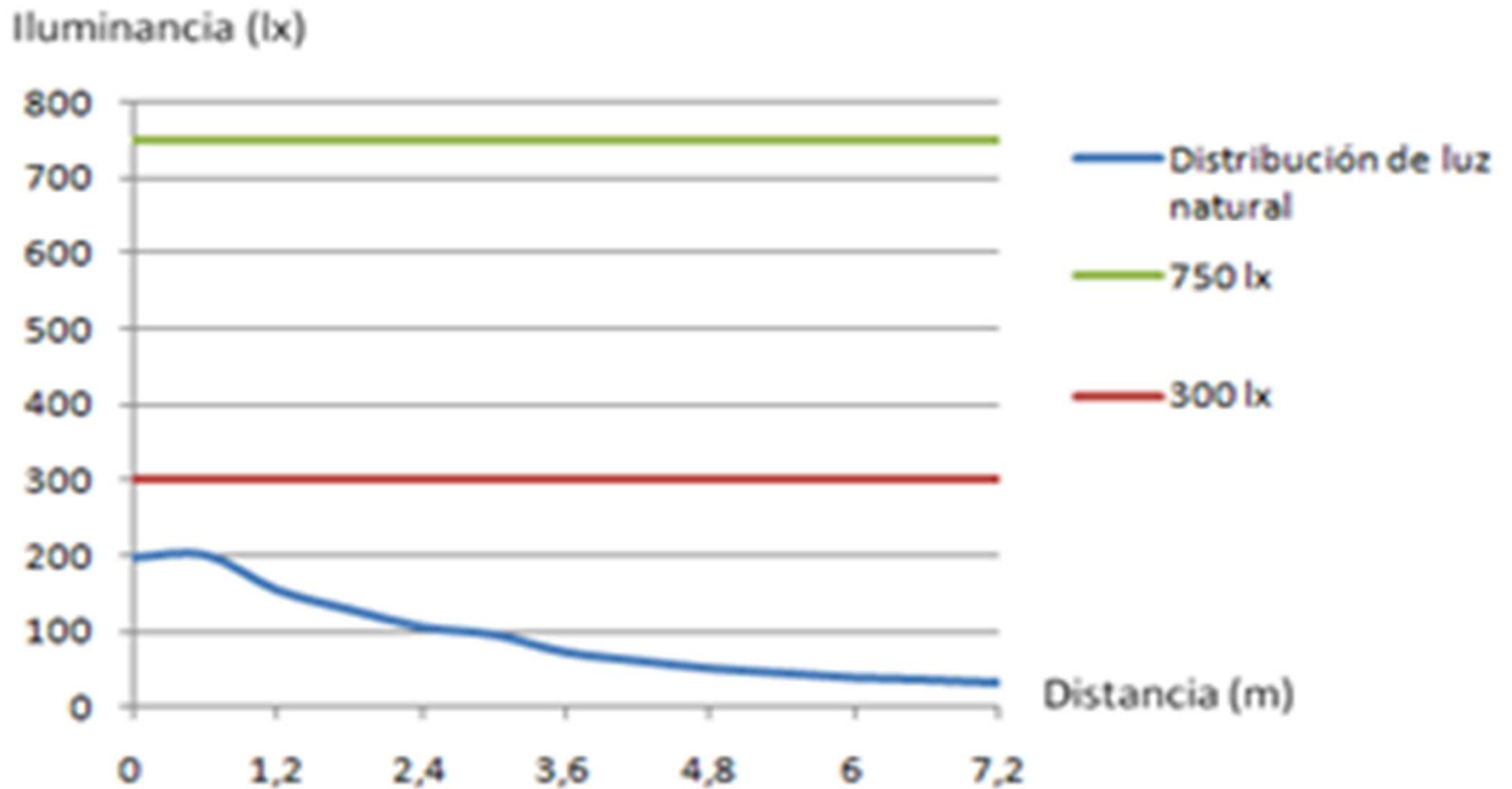
Eficiencia energética en sistemas de iluminación

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_{prom}}$$

| Grupo | Actividades de la zona | Límites de VEEI |
|---|---|-----------------|
| 1 Zonas de baja importancia lumínica | Administrativa en general | 3,5 |
| | Andenes de estaciones de transporte | 3,5 |
| | Salas de diagnóstico (4) | 3,5 |
| | Pabellones de exposición o ferias | 3,5 |
| | Aulas y laboratorios (2) | 4,0 |
| | Habitaciones de hospital (3) | 4,5 |
| | Otros recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior | 4,5 |
| | Zonas comunes (1) | 4,5 |

Iluminación área educativa

RELACIÓN LUZ NATURAL VS DISTANCIA



Aprovechamiento de la luz natural.



Uso de luz natural.

| Clasificación de la tarea según su dificultad | CLD promedio % | Ejemplos típicos de aplicación |
|---|----------------|---|
| Reducida | 1 | Circulación, depósitos de materiales toscos, etc. |
| Mediana | 2 | Inspección general, trabajo común de oficina. |
| Alta | 5 | Trabajos de costura, dibujo, etc. |
| Muy alta | 10 | Montaje e inspección de mecanismos delicados. |

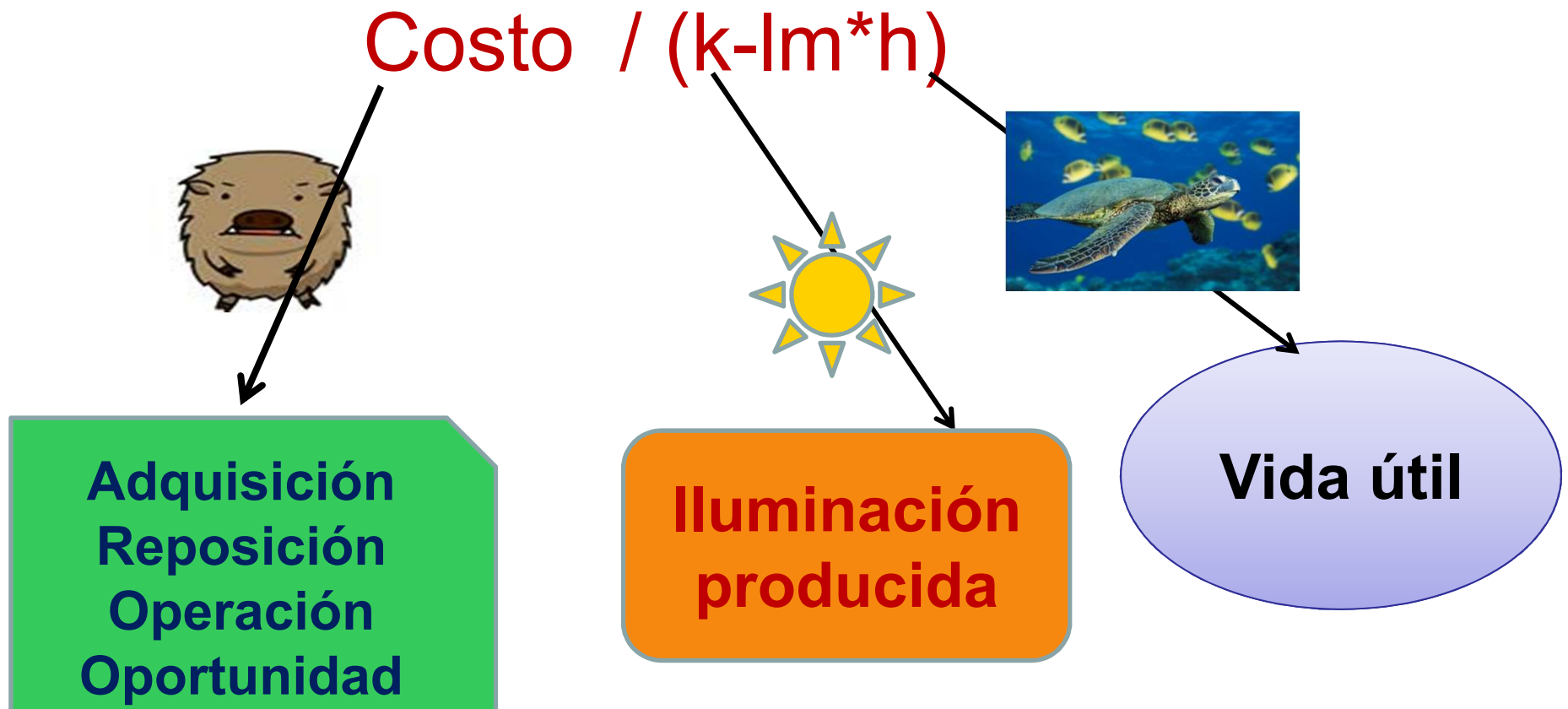
| Edificaciones no residenciales | CLD % |
|--------------------------------|---|
| Fábricas | 5 |
| Oficinas | 2 |
| Salones de Clase | 2 |
| Hospitales | 1 |
| Edificaciones Residenciales | |
| Alcobas | 0,5 (a $\frac{1}{4}$ del ancho del recinto) |
| Cocina | 2 (en la mitad del ancho del recinto) |
| Sala | 1 (en la mitad del ancho del recinto) |

Aprovechamiento de la luz natural.



Indicadores

“Pesos por iluminación”



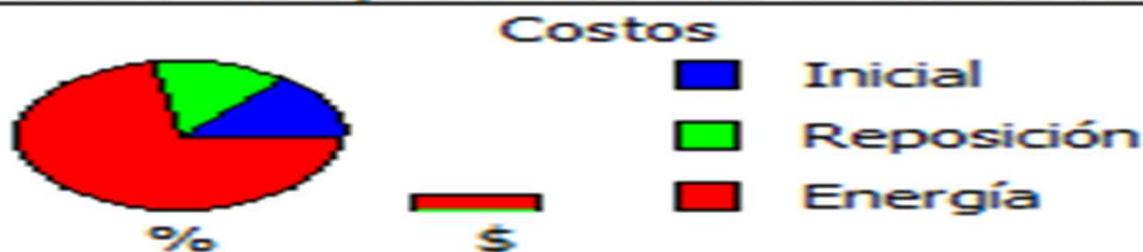
Área a Iluminar

Resultados

Bombillas

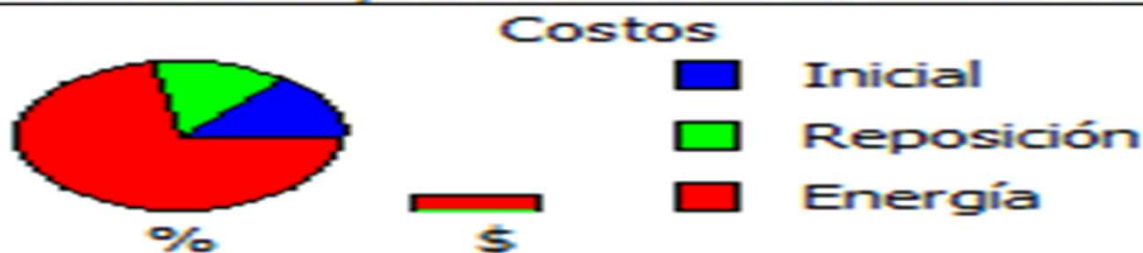
Normas

177: OSRAM, DULUX SUPERSTAR 21W/827 E27



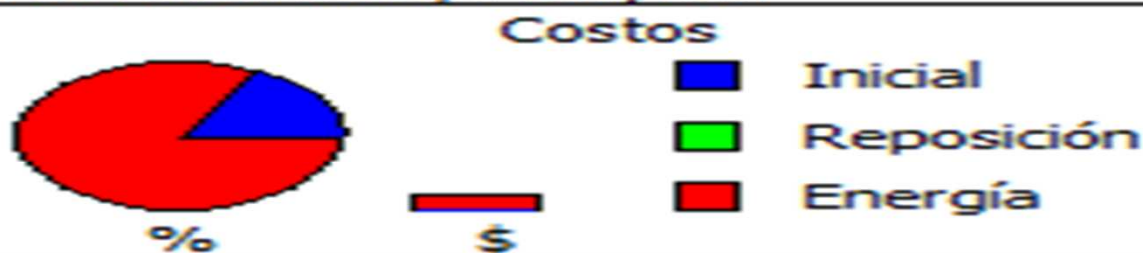
de

178: OSRAM, DULUX SUPERSTAR 21W/865 E27



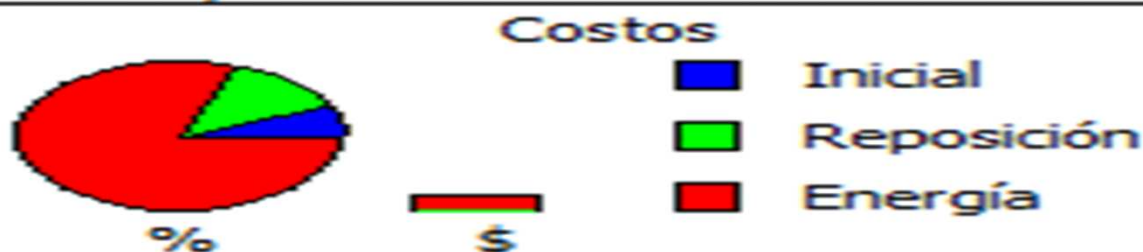
de

179: SYLVANIA, F8W/133



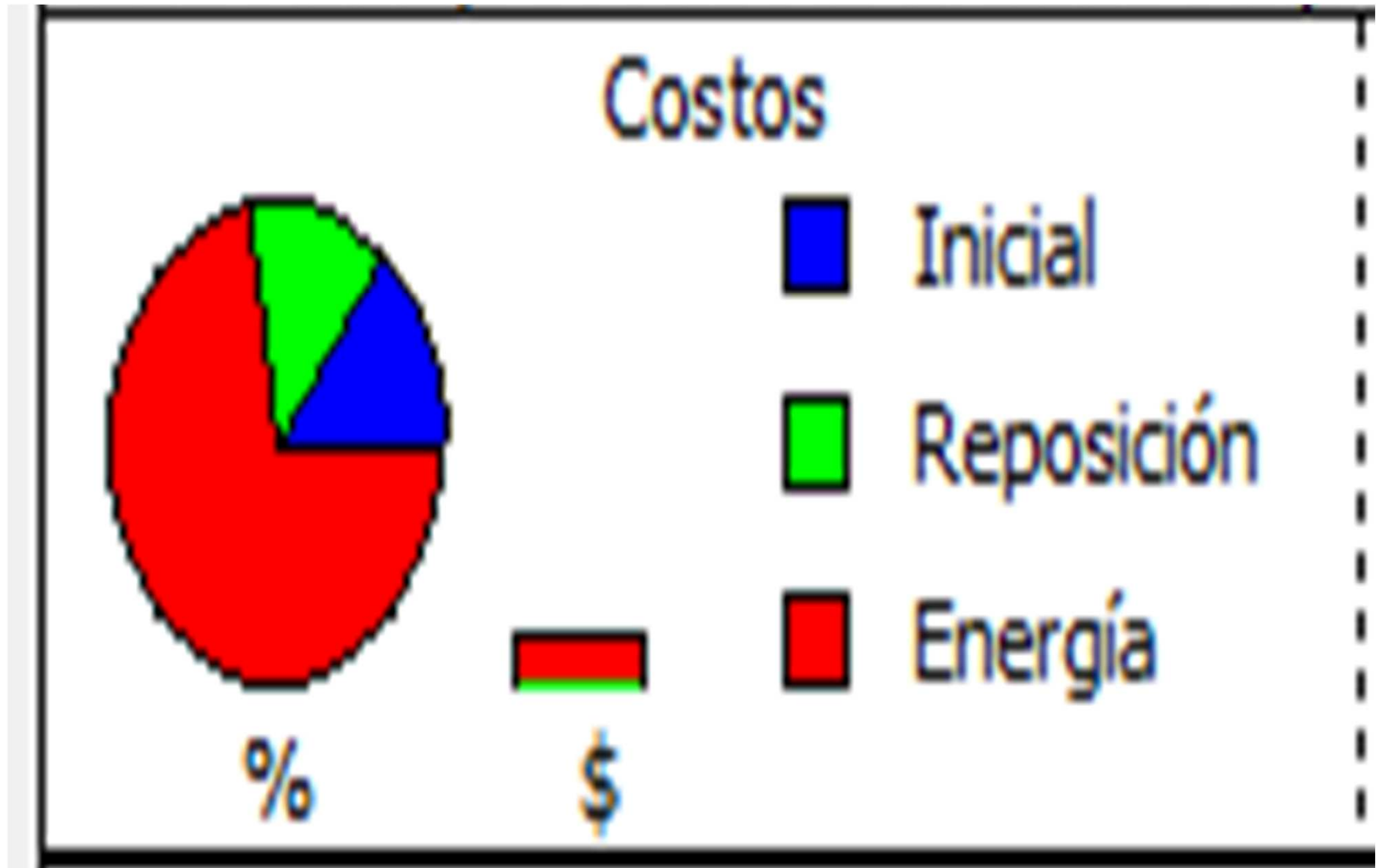
de

180: GE, SOFT WHITE BIAx T4 27W E26



de

Costo de operación de una bombillas

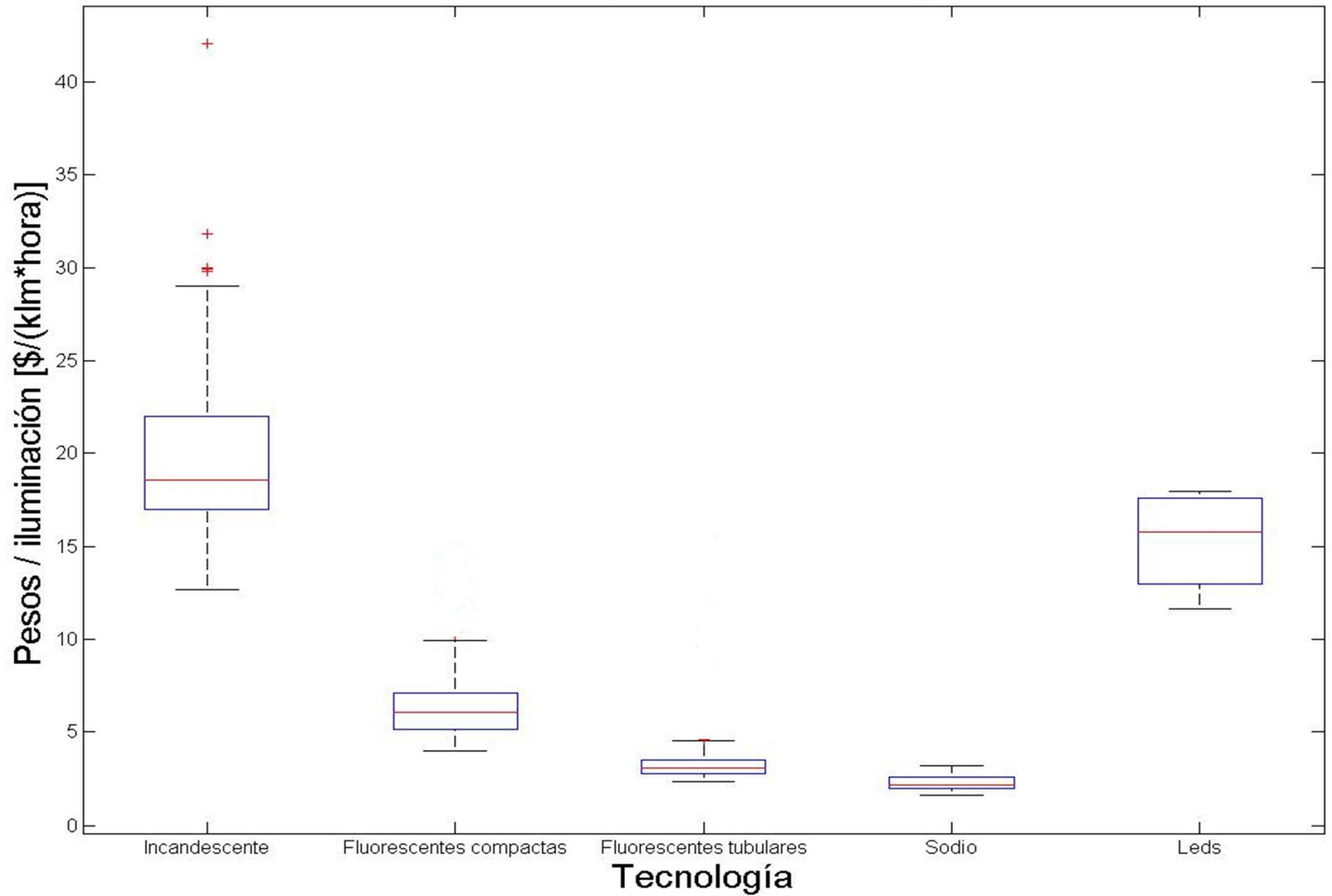


Indicadores

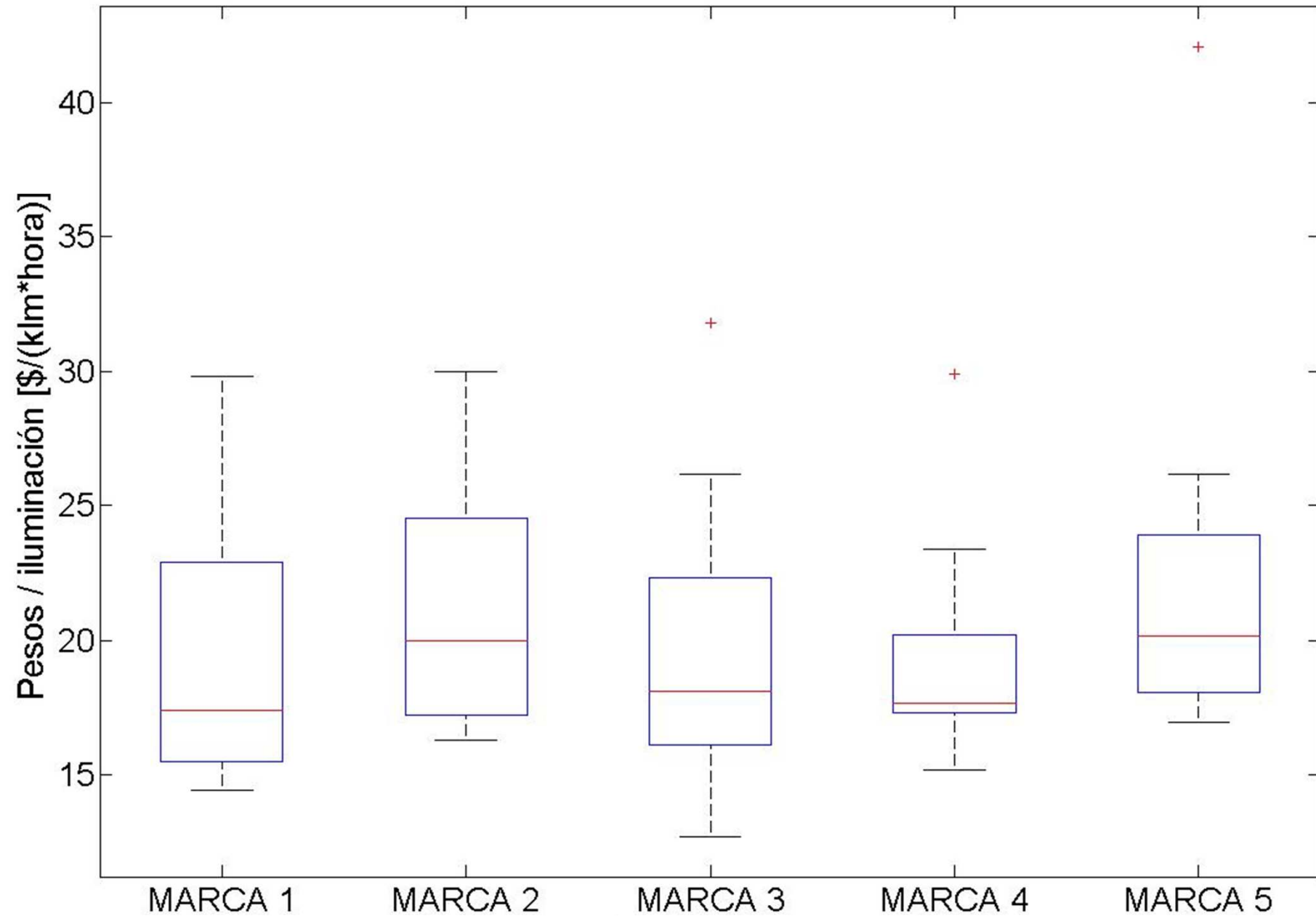
$$\$/(\text{lm} \cdot 1000\text{h})$$

- Por tecnología
- Por marcas para bombillas incandescentes
- Por acabado para bombillas incandescentes
- Por marcas para fluorescentes compactas
- Por presentación para FC
- Por marcas para Fluorescentes Lineales
- Por diámetro para Fluorescentes Lineales

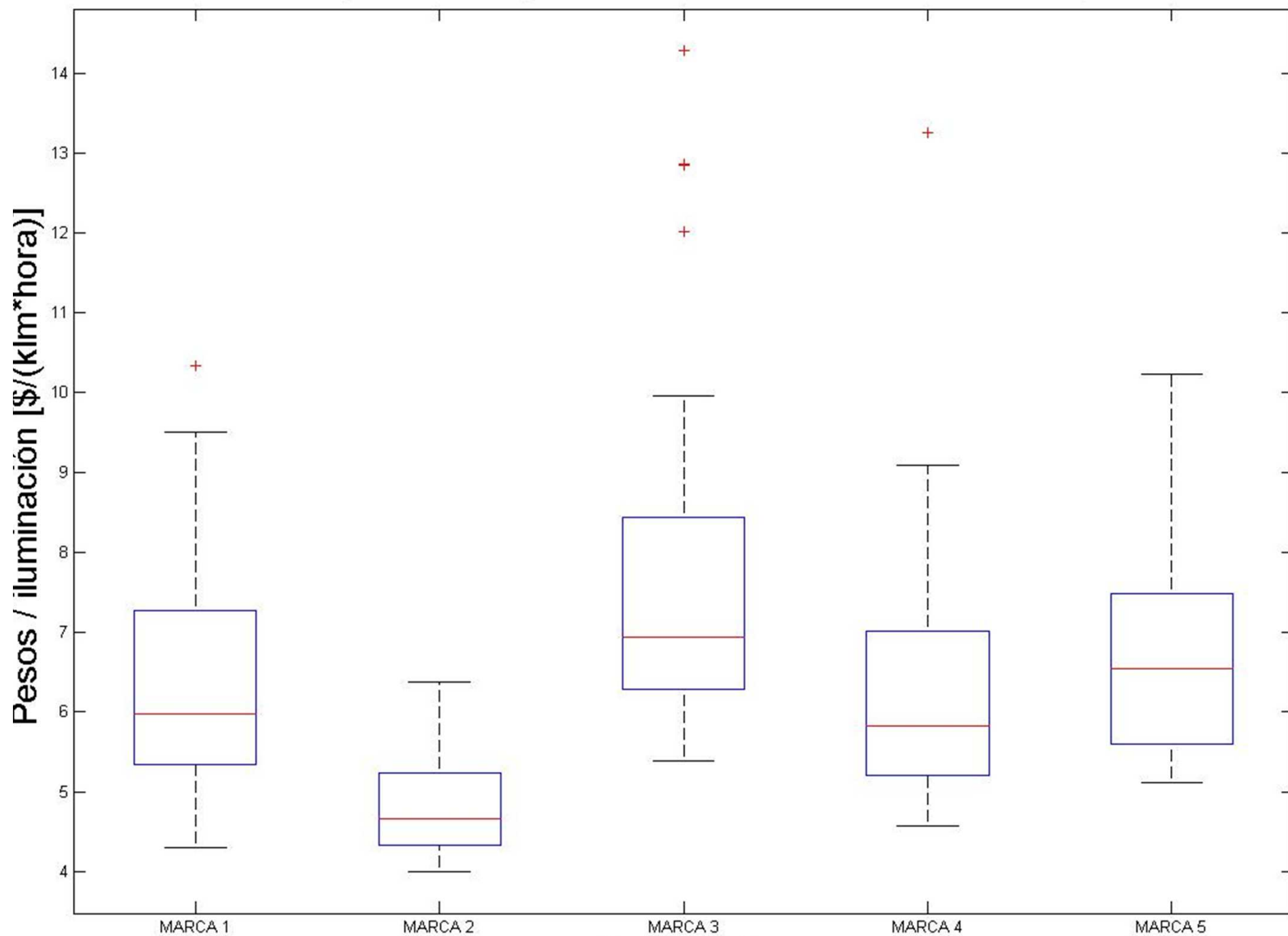
Indicador para cada tecnología



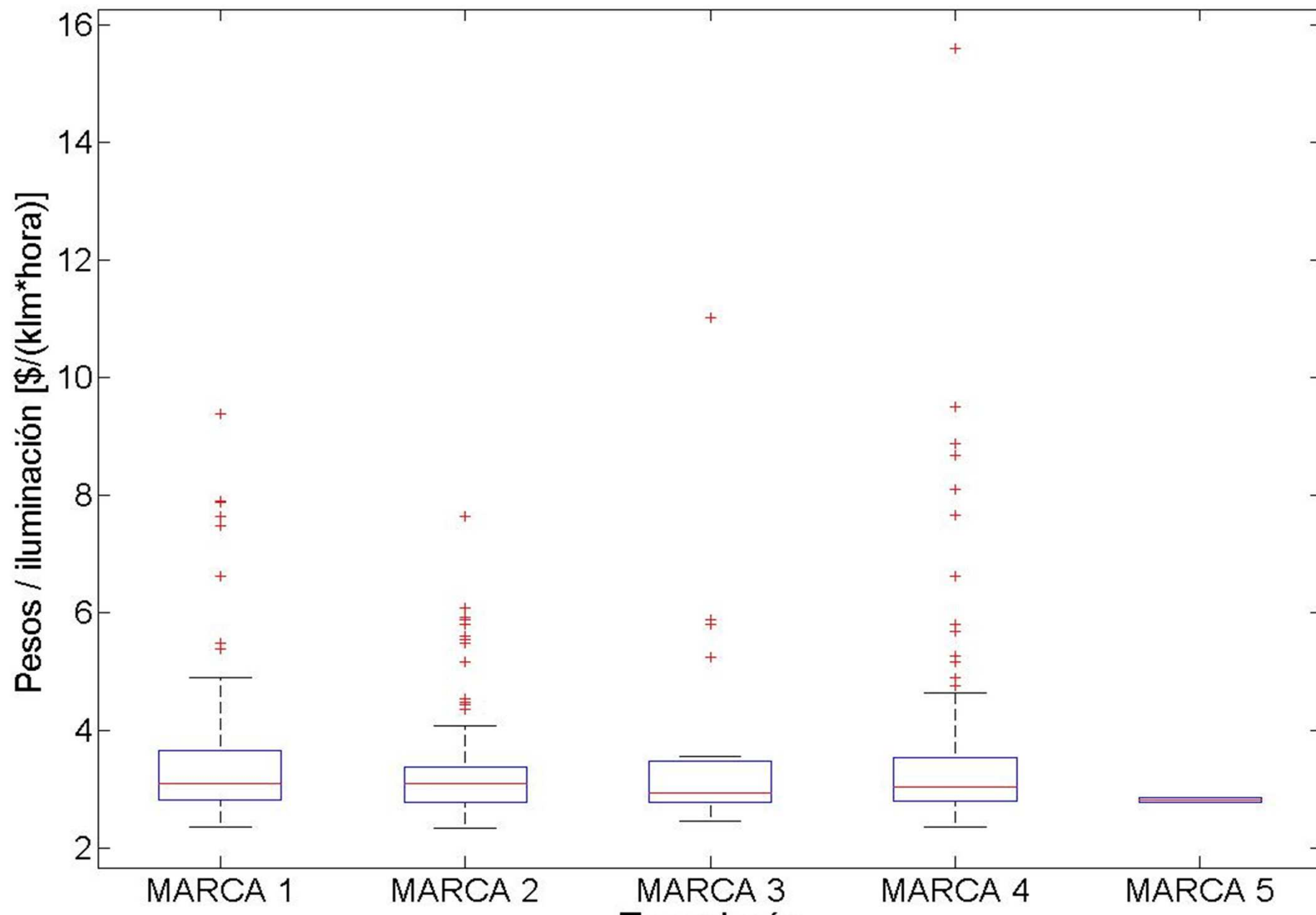
Indicador por marca para bombillas incandescentes



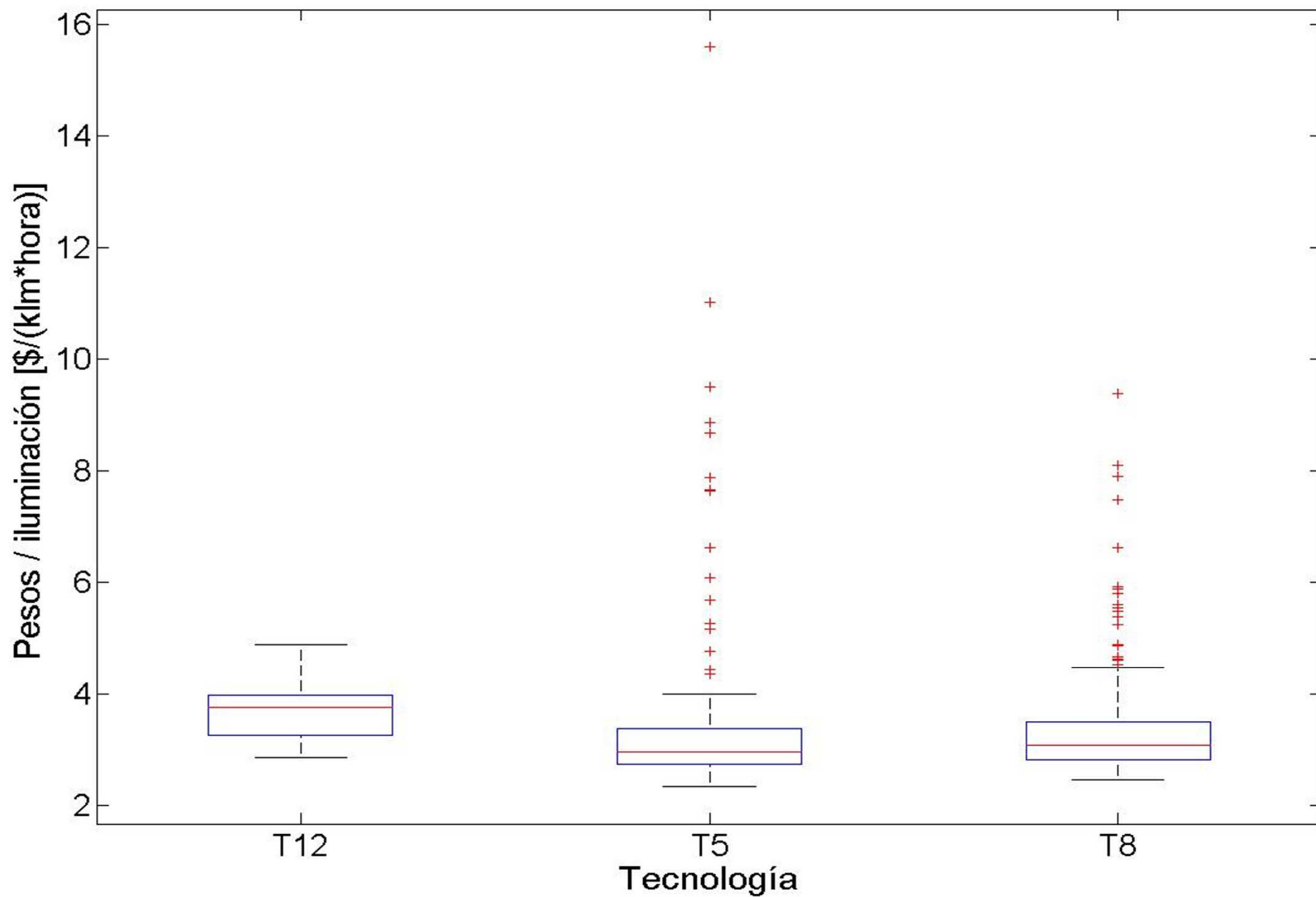
Indicador por marca para bombillas flurescentes compactas



Indicador por marca para bombillas fluorescentes tubulares



Indicador por tipo de casquillo de bombillas fluorescentes tubulares



Resultados de indicador de iluminación

| Fuente de iluminación | Indicador |
|------------------------------|-------------------|
| | (\$/klm-h) |
| FL 1 (T5 - T8-T12) | 4,2 5,8 |
| MH (Balasto reactor) | 5,7 - 6.9 |
| BFC 1 | 6 - 8,7 |
| LED | 8 11 |
| Incandescente | 16 - 21 |
| OLED | 40- 45 |

| Fuente de iluminación | Indicador |
|----------------------------------|--------------------|
| | (\$/klm-h) |
| HP sodio | 3,24 - 3,67 |
| Inducción | 3,86 - 4,15 |
| Plasma | 5,17 |
| Mercurio | 7,49 |
| LED | 11 |

Impacto de la sustitución hacia los usuarios
Estimación del uso de iluminación

| Horas de uso anuales | |
|-----------------------------|--------|
| Semanas al año | 52 |
| Días a la semana | 7 |
| Horas diarias | 3 |
| Factor de utilización | 0.4 |
| Total horas Anuales | 436.8 |
| Tiempo de análisis | 5 años |

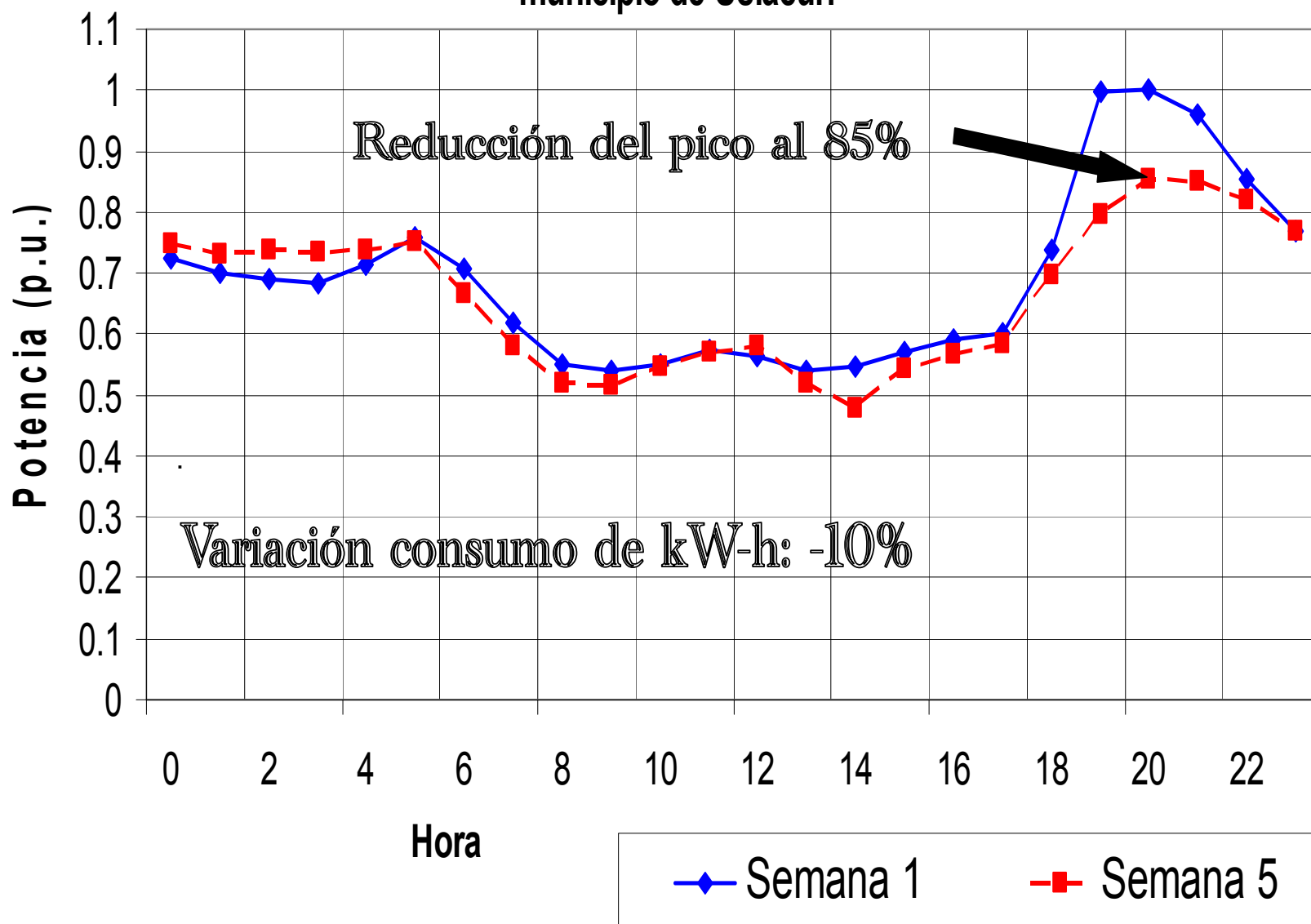
□

Impacto de la sustitución hacia los usuarios

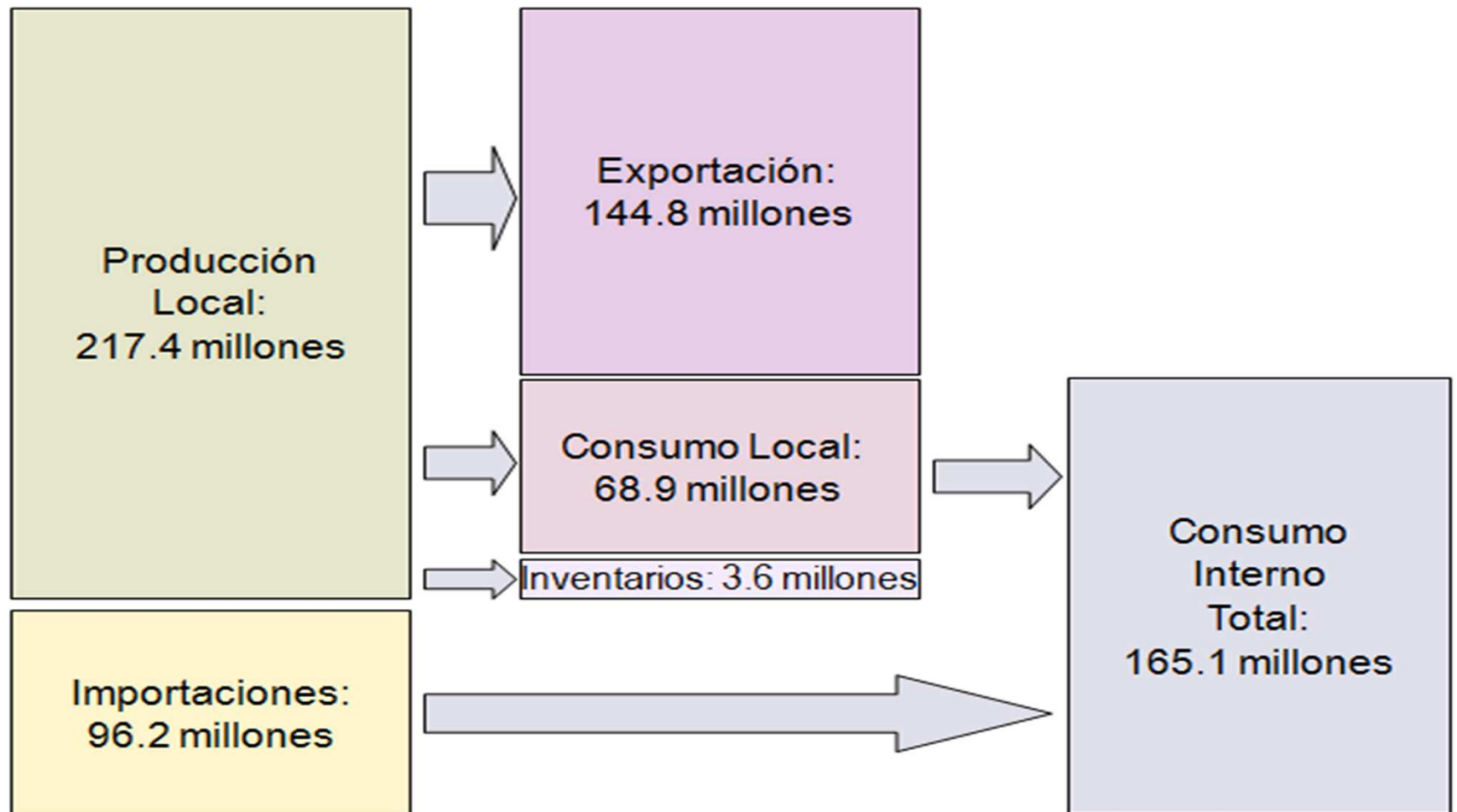
Estimación del uso de iluminación

| | Pago mensual promedio por Energía Eléctrica | Nuevo valor factura con LFC | Ahorro mensual Total |
|-----------|--|--|-------------------------------------|
| Estrato 1 | \$ 14,488 | \$ 12,231 | \$ 2,257 |
| Estrato 2 | \$ 20,224 | \$ 16,636 | \$ 3,588 |
| Estrato 3 | \$ 26,679 | \$ 21,123 | \$ 5,556 |
| Estrato 4 | \$ 37,830 | \$ 30,399 | \$ 7,431 |
| Estrato 5 | \$ 77,571 | \$ 66,360 | \$ 11,211 |
| Estrato 6 | \$ 92,585 | \$ 79,819 | \$ 12,766 |

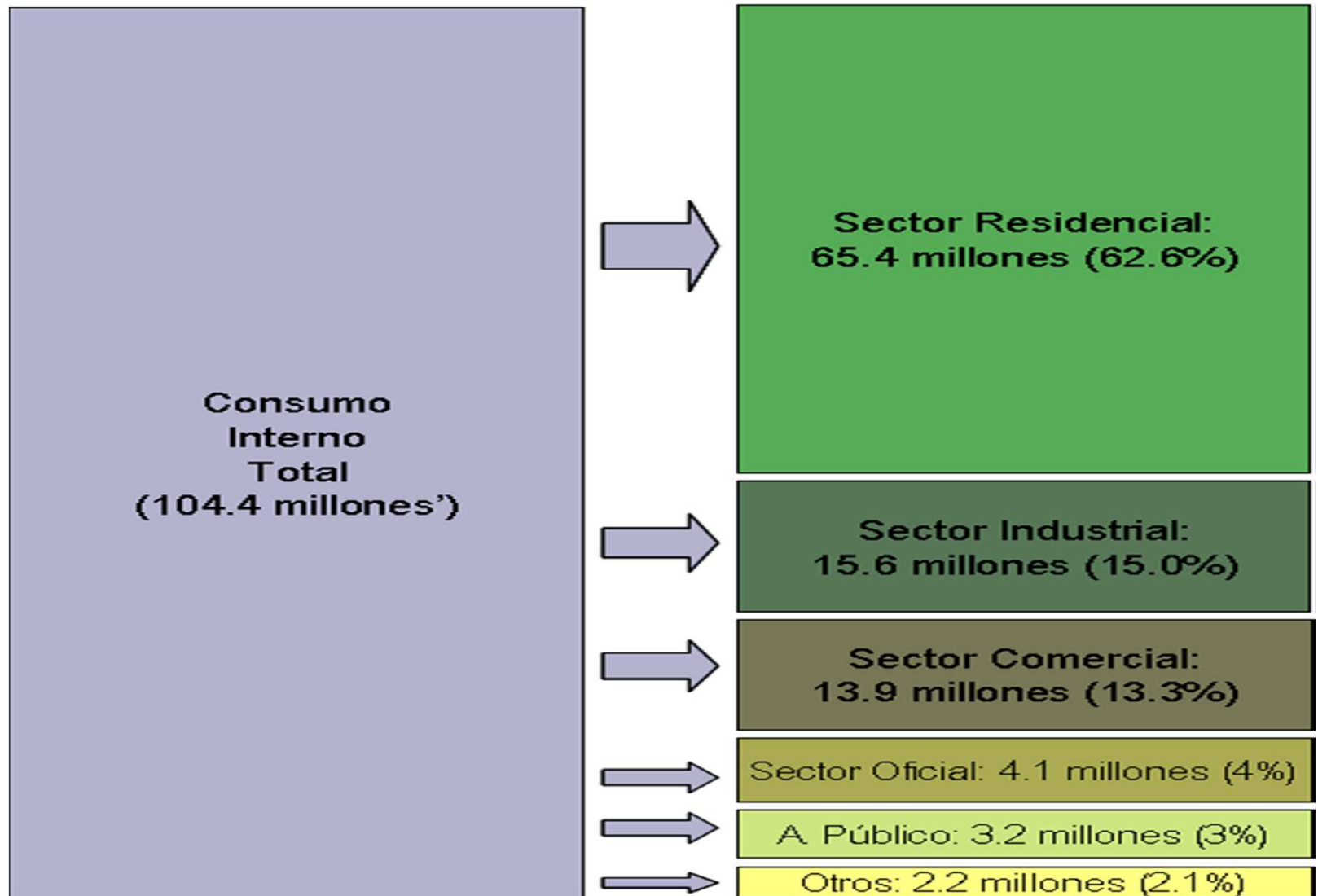
Variación consumo de potencia activa municipio de Usiacurí



Mercado de la iluminación en Colombia



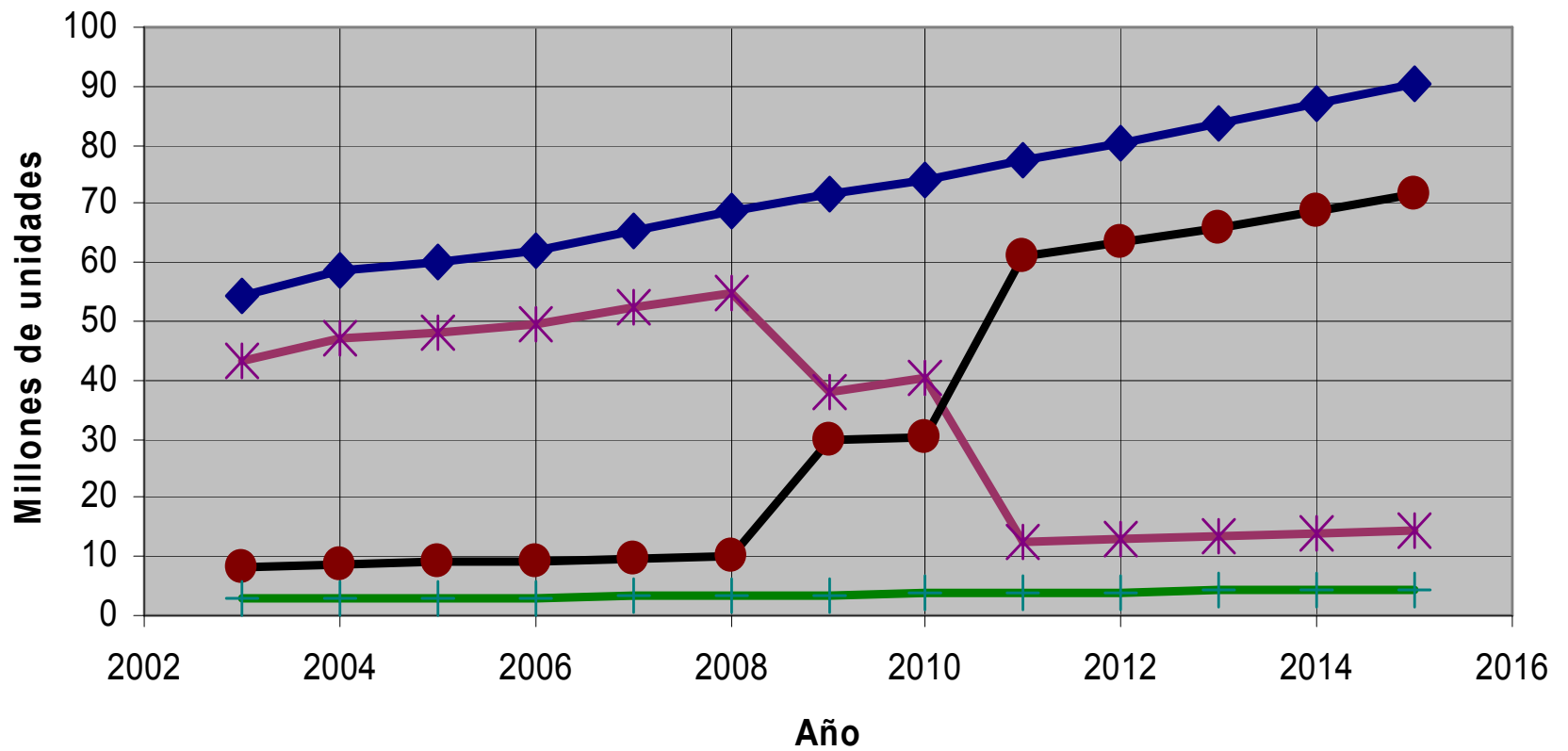
Mercado de la iluminación en Colombia



Fernando A Herrera L
Universidad nacional de Colombia
DRA

Mercado de la iluminación en Colombia

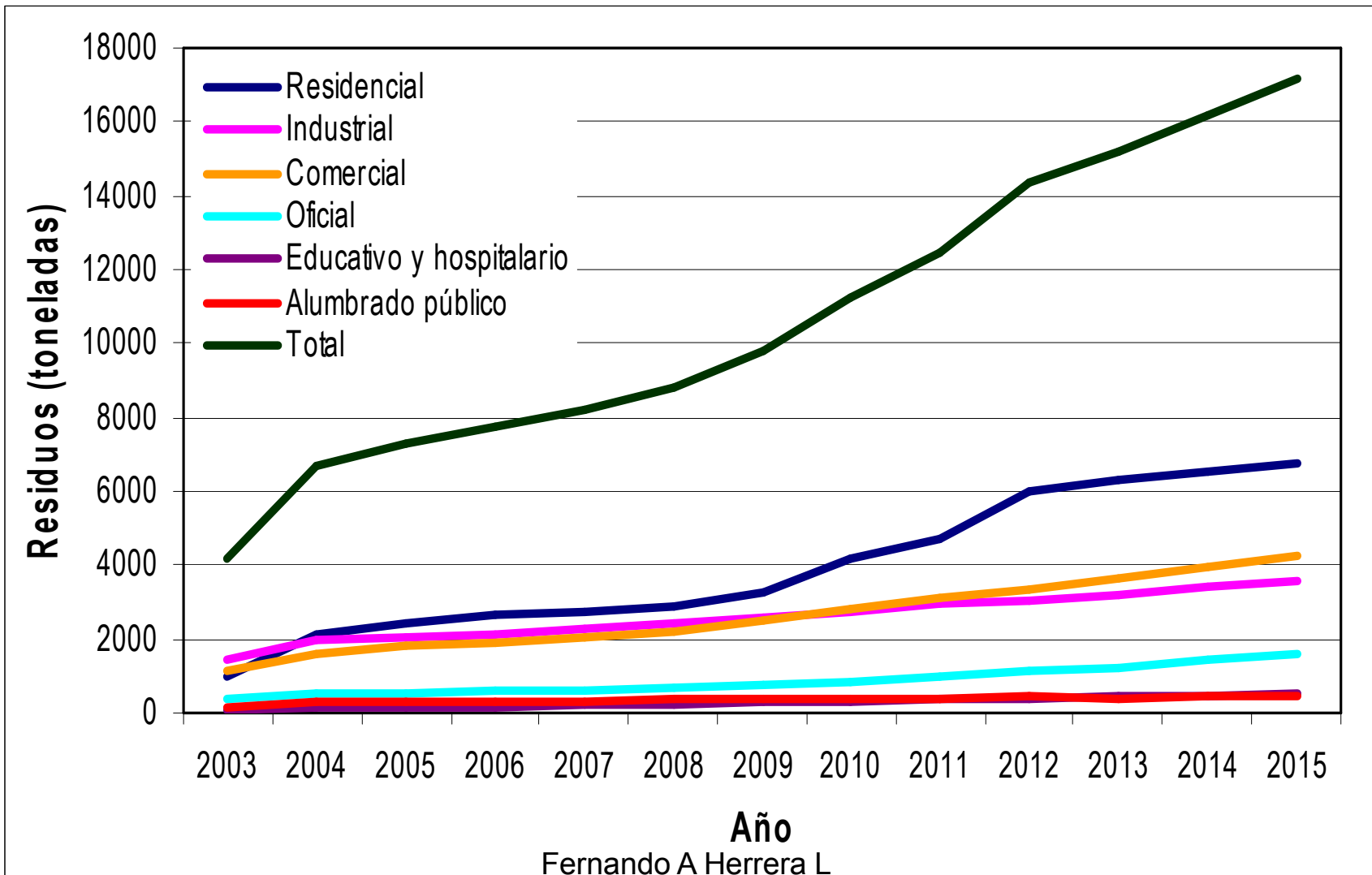
Consumo de bombillos mercado con sustitucion de incandescentes por BFC (residencial)



—◆— Total —*— Incandescentes —●— BFC —+— BFT

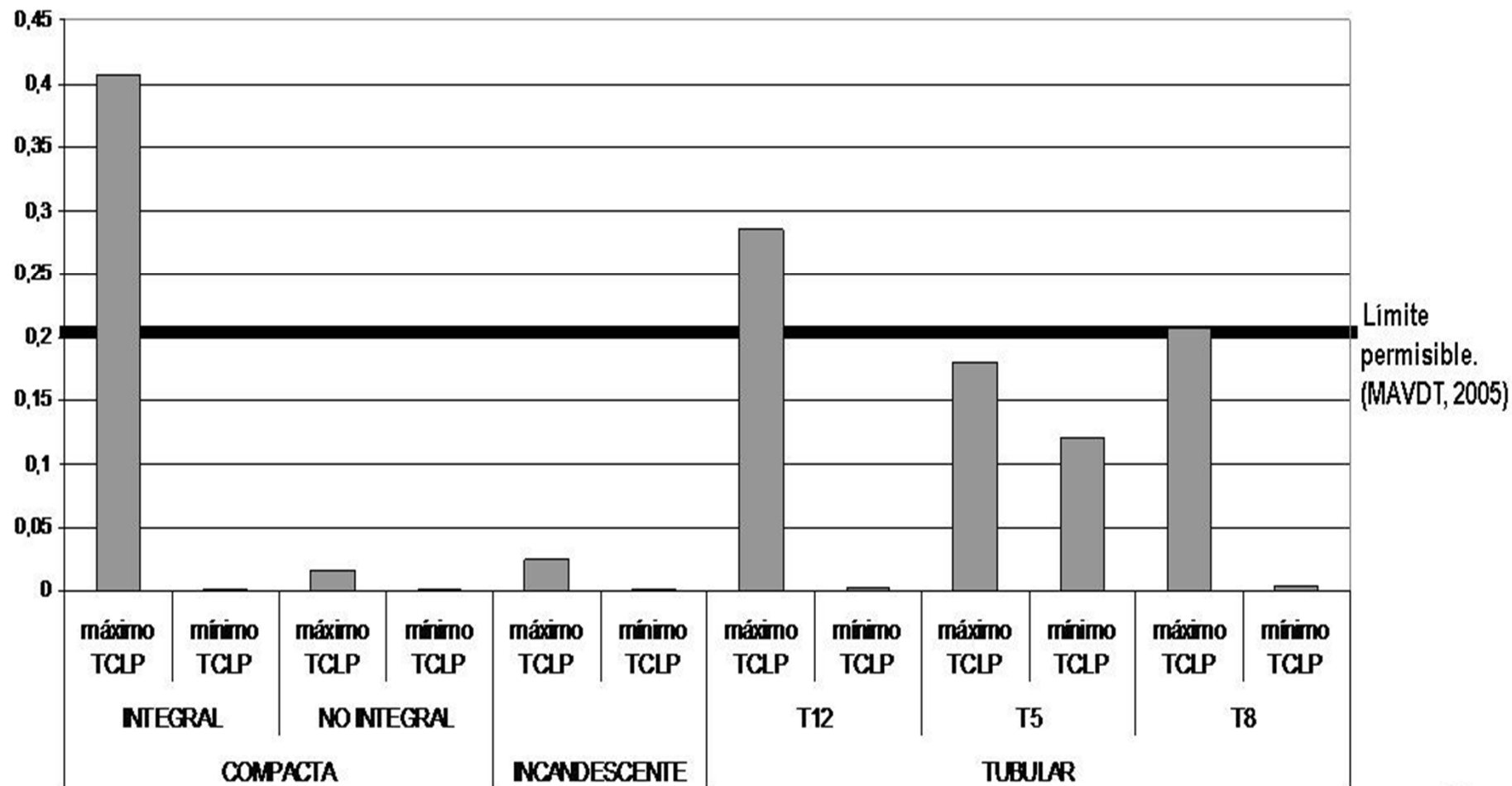
Fernando A. Herrera L.
Universidad nacional de Colombia
DRA

Generación de residuos por fuentes de luz

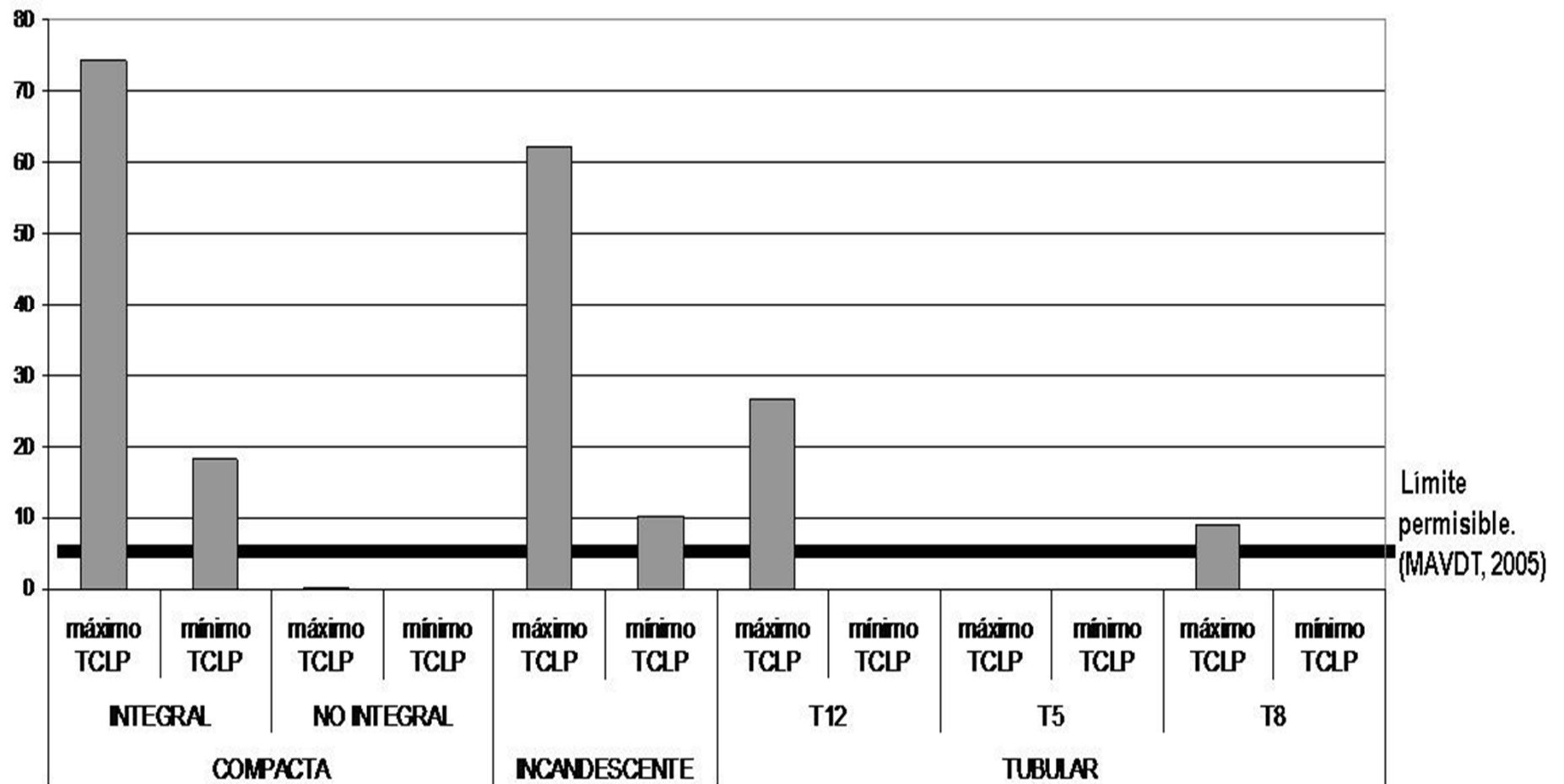


Fernando A Herrera L
Universidad nacional de Colombia
DRA

Contenido de mercurio lixiviado



Contenido de plomo lixiviado



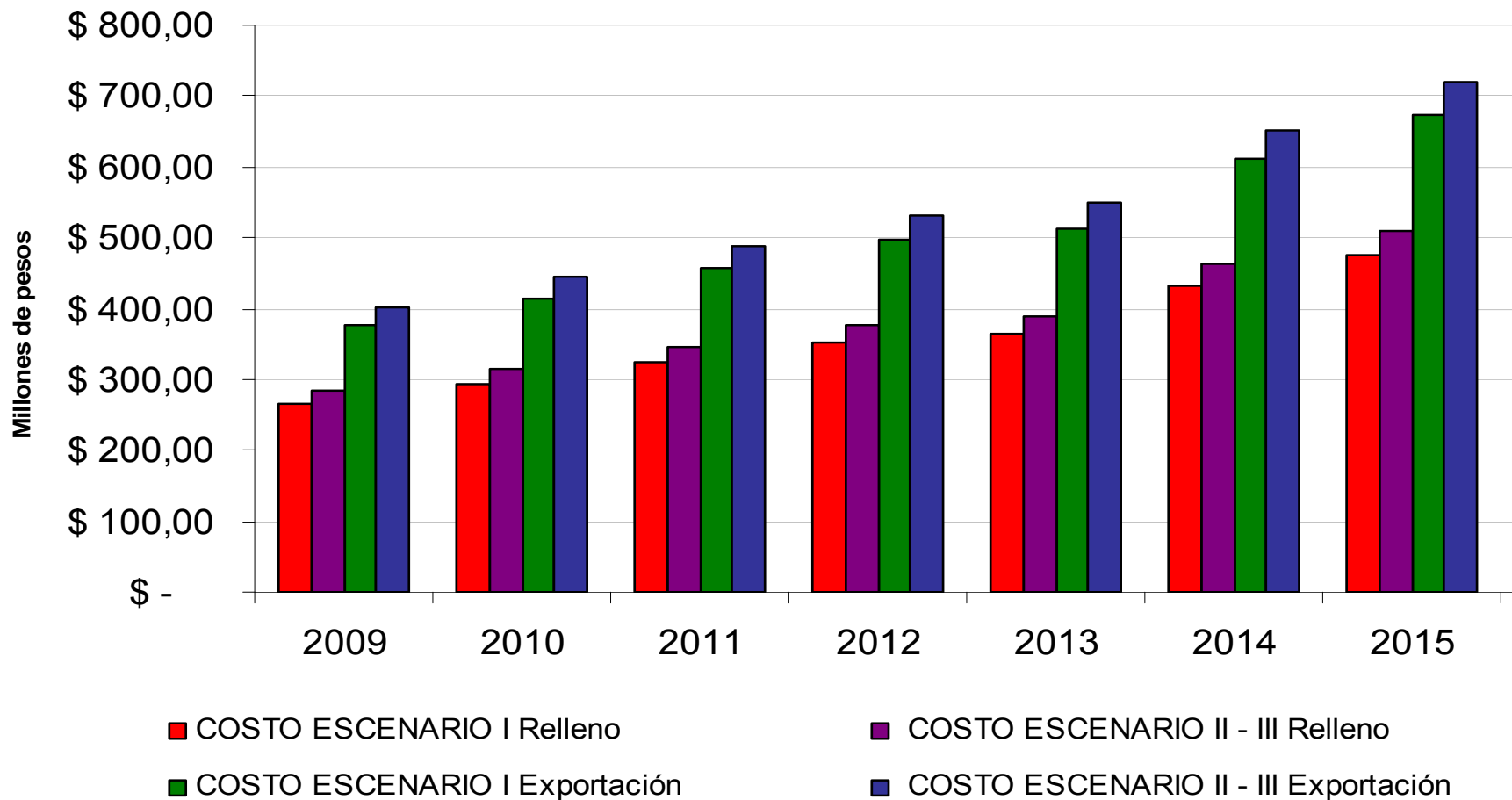
FUNDAMENTOS DEL SMA

Experiencia internacional



Fuente:
www.envirolite.co.uk

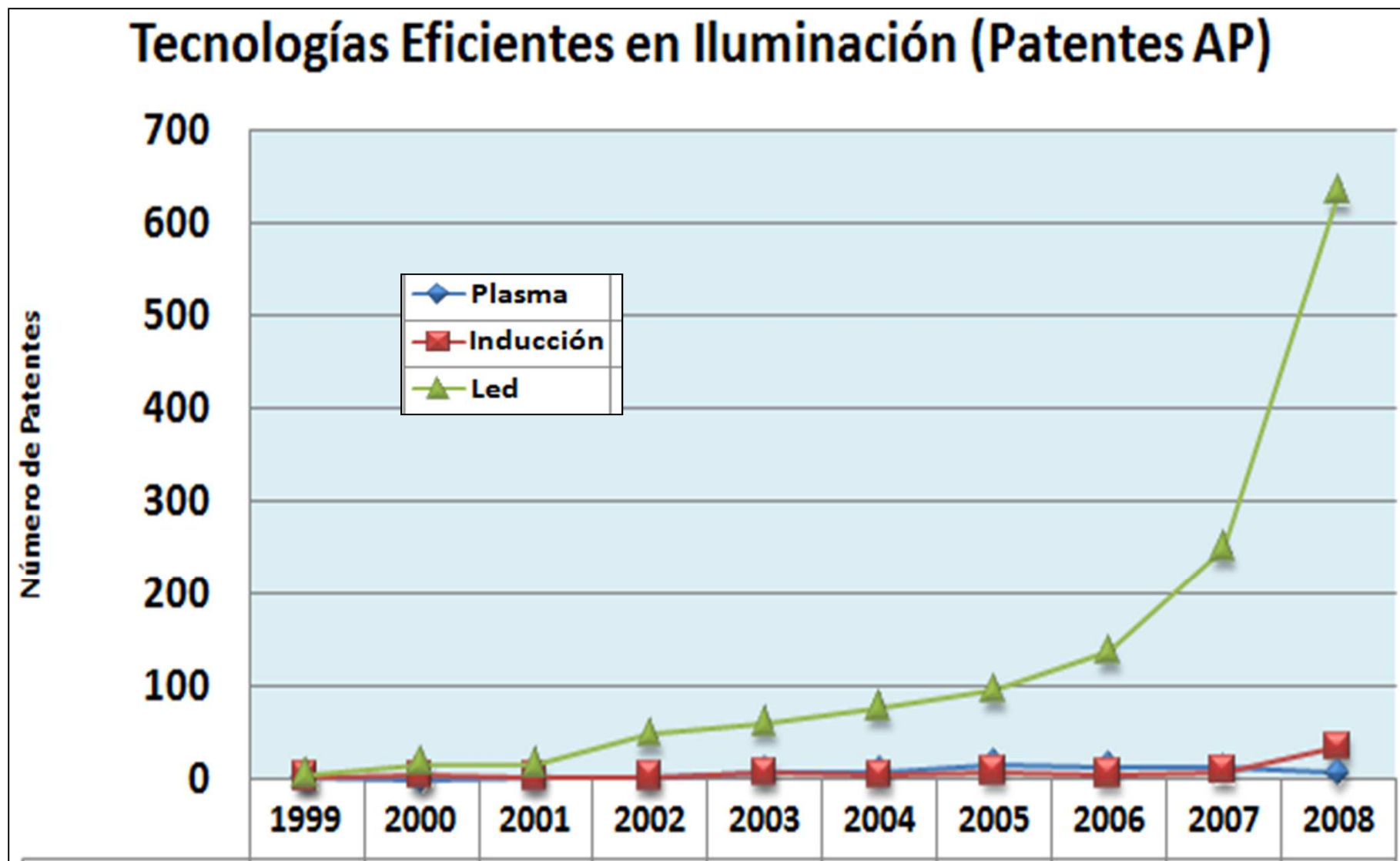
Costo posconsumo usuario tipo (alumbrado público) para Bogotá



Tendencias

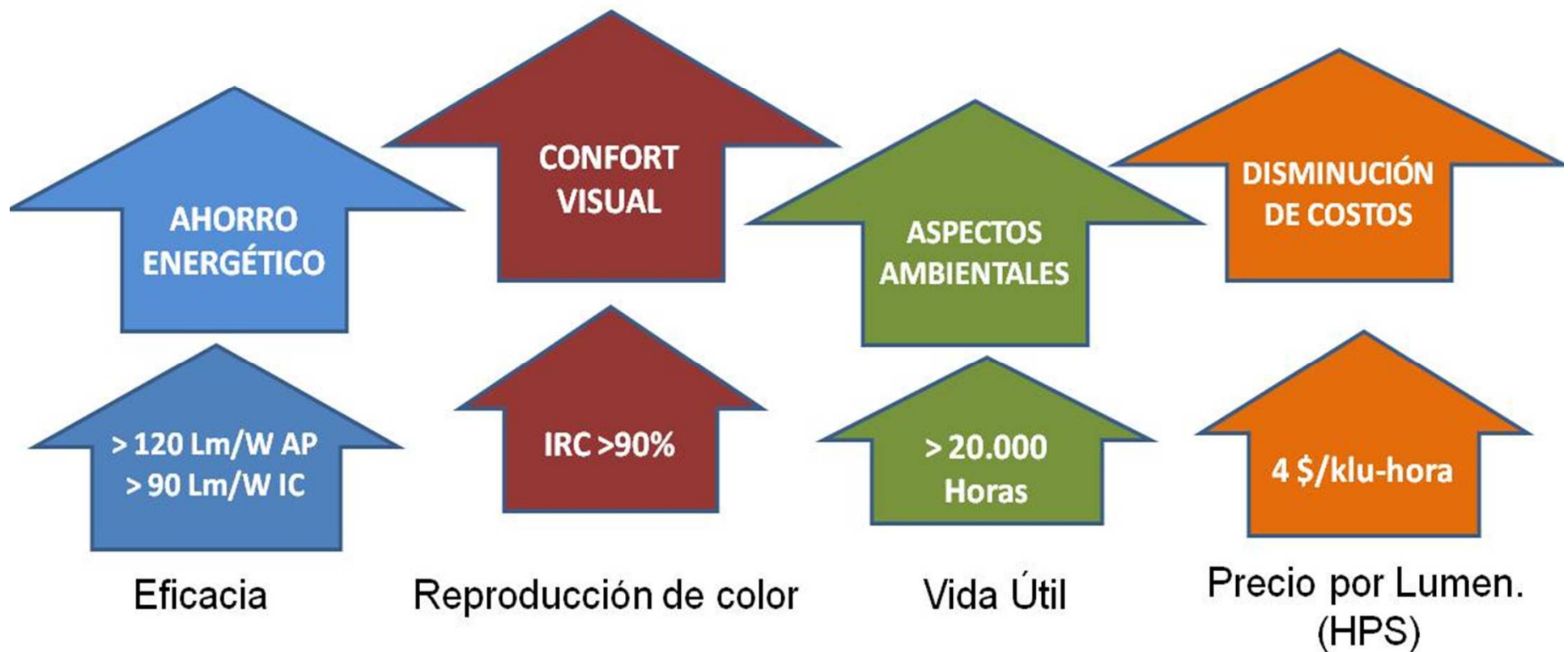
- Uso de la luz natural
- Uso de fuentes con mayor eficiencia y eficacia
- Mejor desempeño lumínico : luz blanca, cálida, alto índice de reproducción del color.
- Control continuo del flujo luminoso
- Larga duración con flujo sostenido
- Uso de materiales biodegradables y orgánicos

Tendencias Tecnologías Alumbrado Público



Fuente: proyecto Vigilancia tecnológica COLCIENCIAS-CODENSA U. NACIONAL

Tendencias Tecnológicas en Iluminación.

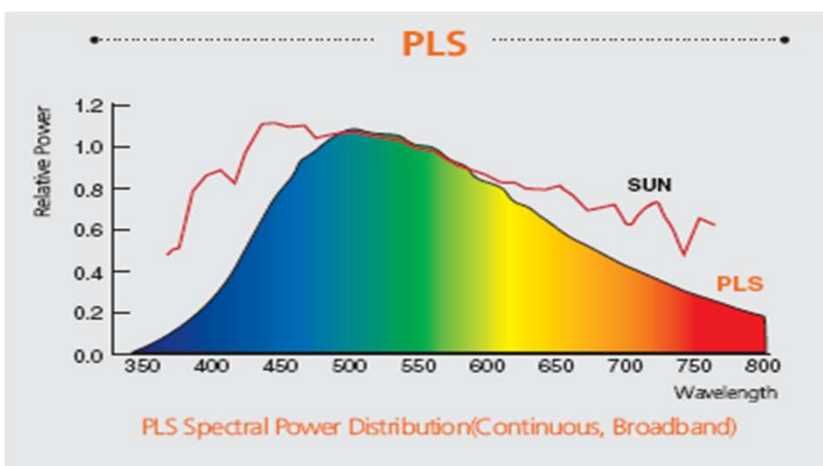


REGULACIÓN DE POTENCIA
ELÉCTRICA

CONTROL DE FLUJO LUMINOSO

Plasma.

- Amigable ambientalmente.
- Alta Reproducción del Color.
- Alta Eficacia ≈ 140 Lm/W.
- Vida útil > 30.000 horas.



Precio por Lumen

HPS: 3,24 \$/kLm·h
Fluorescente: 5,18 \$/kLm·h
Plasma: 5,17 \$/kLm·h



140
Lm/W

Eficacia luminaria

IRC \approx
91%

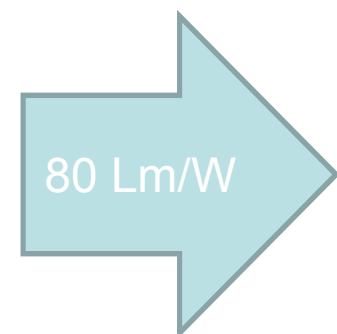
Reproducción de color

30.000 Horas

Vida Útil

Inducción.

- Larga vida útil (60.000 Horas)
- Bajo precio por Lumen.
- Eficacia media ≈ 80 Lm/W



Eficacia
lumínica



Reproducción
de color

Precio por Lumen
HPS: 3,24 \$/klm·h
Inducción: 3,86 \$/klm·h



Vida Útil



Imágenes tomadas de: http://www.globalmarket.com/product/Induction-Roadway-Light-Outdoor-Light_12800487.html

LED de ALTA POTENCIA para AP.

- Se proyectan 160-180 lm/W para el 2020.
- Larga vida útil.
- Eficacia media-baja ≈ 68 Lm/W
- Alta inversión en investigación.



Precio por Lumen

HPS: 3,24 \$/klm·h
LED: 8 \$/kLm·h

67 Lm/W

IRC \approx
80%

50.000
Horas

Eficacia lumínica

Reproducción de color

Vida Útil



http://www.creeledrevolution.com/system/files/imagecache/testimonial_size/testimonial/photos/3043306769_c8f3d51f69.jpg&imgrefurl=

Tendencias Tecnológicas Iluminación interior

- **Utilización y aplicación de OLED como sistema de iluminación.**
- **Transmisión de datos a partir de la iluminación por LED.**
- **Iluminación de espacios y aprovechamiento del color para influenciar el estado de ánimo.**
- **Implementación de sistemas inteligentes de iluminación. (Control de flujo de la iluminación)**
- **Uso creciente de Luz Natural. (Luminoductos y diseños arquitectónicos)**

OLED.

- Alta reproducción del Color.
- Altamente decorativo, flexible y de fácil instalación
- Baja vida útil.
- Baja eficiencia ≈ 15 Lm/W
- Bajo flujo luminoso



Precio por Lumen

45 \$/kLm·h



15
Lm/W

Eficiencia

IRC ≈ 90
%

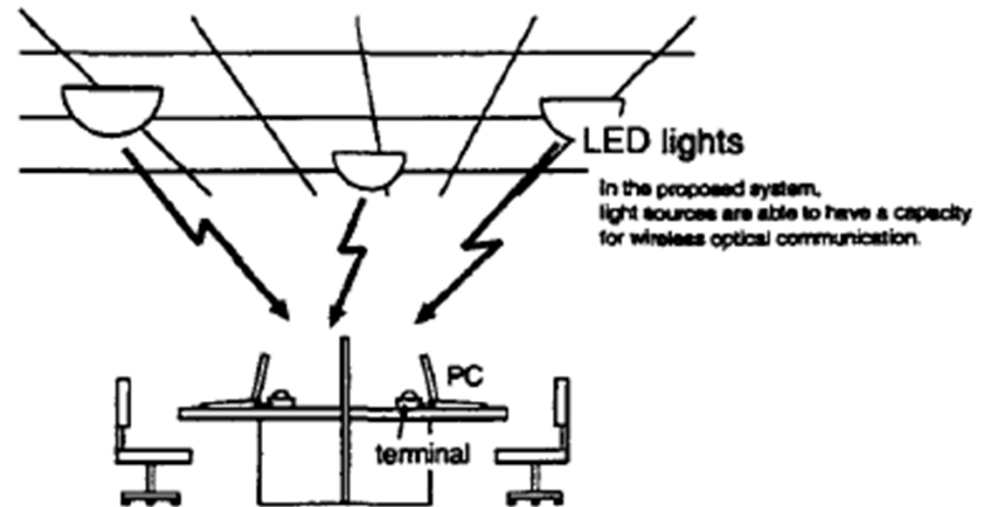
Reproducción de color

10.000
Horas

Vida Útil

LED para Iluminación Comercial.

- Redes inalámbricas seguras.
- Larga vida útil.
- Baja eficacia.
- Alta inversión en investigación.



Precio por Lumen

11 \$/kLm·h

35,2Lm/
W

Eficacia luminaria

IRC ≈
80%

Reproducción de color

Vida Útil

Imágenes tomadas de: <http://www.24ledmedia.com/led-lighting-display-pj.html>

Fuente: Yuichi Tanaka, Toshihiko Komine, Shinichiro Haruyama and Masao Nakagawa. "Indoor visible communication utilizing plural white leds at lighting". IEEE.

Fuente: proyecto Vigilancia tecnológica COLCIENCIAS-CODENSA U. NACIONAL

Luminoductos.

- Amigables ambientalmente.
- Ahorro energético.
- Luz natural.



Precio por Lumen

No aplica

No Aplica

Eficacia luminaria

IRC \approx 100 %

Reproducción de color

No Aplica

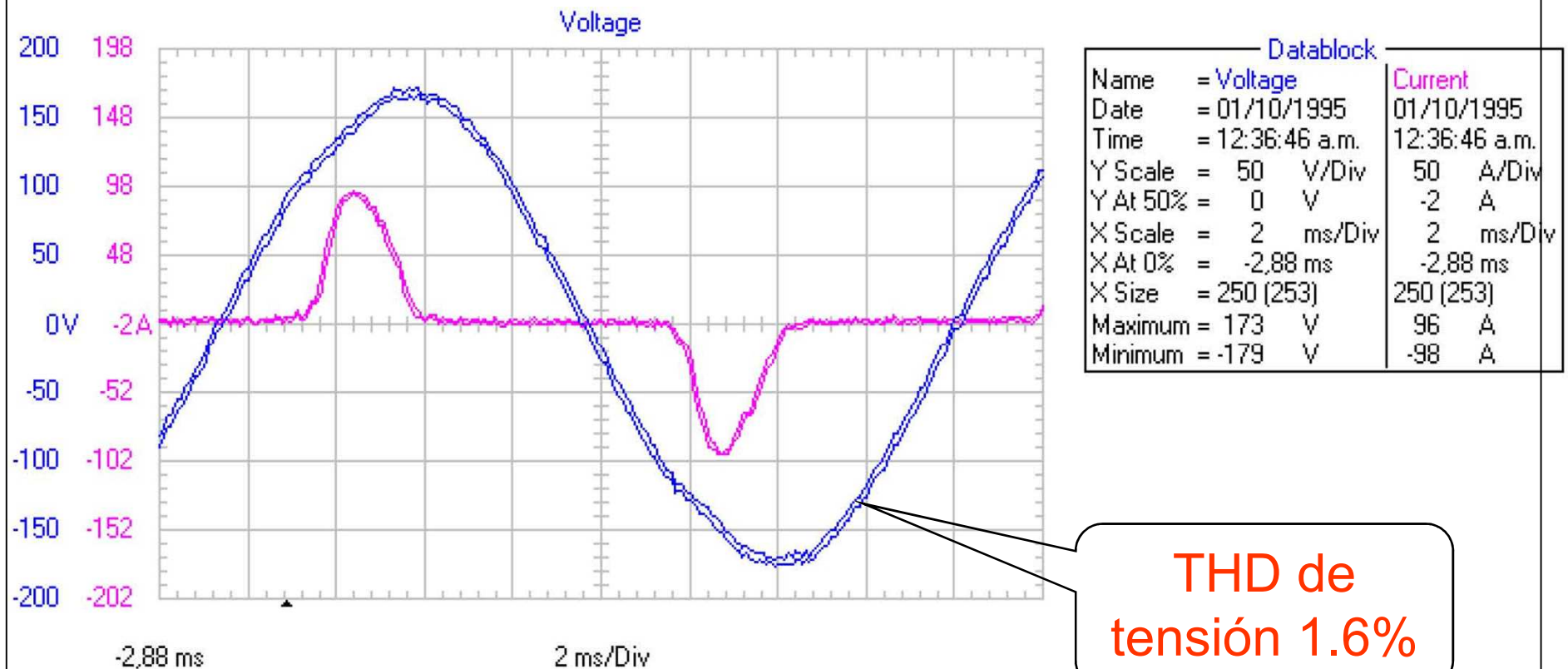
Vida Útil



Imágenes tomadas de: <http://www.fredshed.co.uk/builders.htm>
<http://www.rickardolson.com/Natural%20Lighting.htm>

Fuente: proyecto Vigilancia tecnológica COLCIENCIAS-CODENSA U. NACIONAL

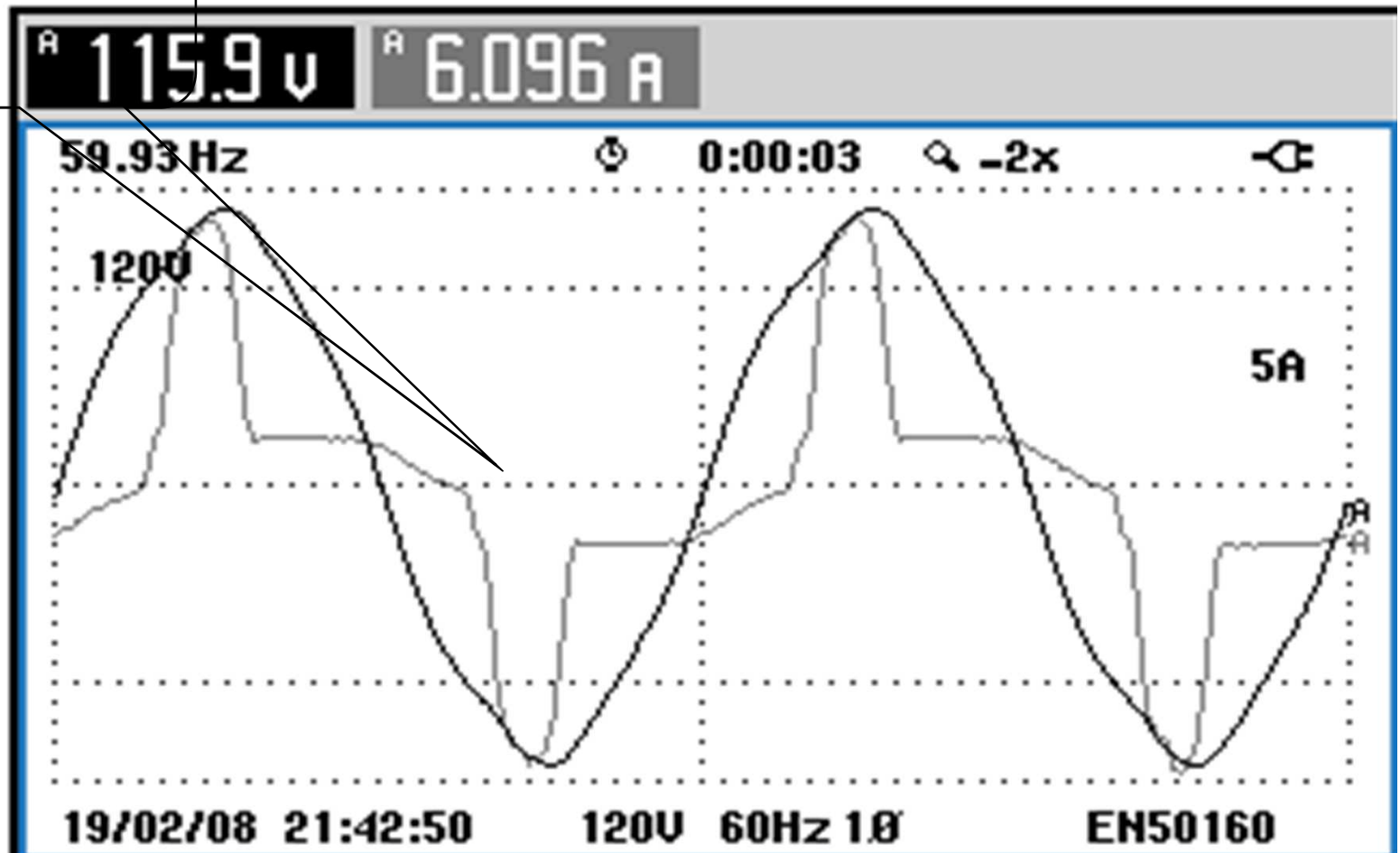
Programa de sustitución de bombillas



Bombillas Fluorescentes Compactas: (Para 30 BFC)

Combinación de cargas (medición)

Para 16 BFC.



Efecto de tres tipos de carga(medición)

| <i>Tipo de carga</i> | <i>THDi</i> | <i>PF</i> | <i>DPF</i> | <i>Fase</i> |
|-----------------------------|--------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Nevera + PC + 4BFC</i> | 52,2 % | 0.82 | 0.92 | Atraso |
| <i>Nevera + PC + 16BFC</i> | 72,4% | 0.79 | 0.99 | Atraso |

Nota: Aunque no se midió el THDv para el segundo caso se puede inferir de las formas de onda de tensión que este aumenta a incrementar la carga de BFC.

Fuentes bibliográficas

- Programa de sustitución de bombillas en Colombia Universidad Nacional de Colombia- UPME 2008
- Evaluación de residuos tóxicos en el sector de iluminación y pilas . Universidad Nacional de Colombia Ministerio de Ambiente y Vivienda 2009.
- Programa de especialización y Diplomando en Iluminación Universidad Nacional de Colombia 2009-2011
- Proyecto de vigilancia tecnológica en Iluminación Universidad nacional de Colombia CODENSA COLCIENCIAS 2010
- Uso racional y eficiente de la energía en iluminación . Carlos Kirschbaum, Elisa Colombo : UNT Argentina

Gracias por su atención

faherreral@unal.edu.co

Fernando A Herrera L
Universidad nacional de Colombia